

AD-A049 377

ADVISORY GROUP FOR AEROSPACE RESEARCH AND DEVELOPMENT--ETC F/G 20/4
RAPPORT D'EVALUATION TECHNIQUE DU CONGRES DU PANEL DE LA DYNAMI--ETC(U)
DEC 77 X BOUIS

UNCLASSIFIED

AGARD-AR-112

NL

| OF |
AD
A049377



END

DATE
FILMED

3-78

DDC

AD A 0 4 9 3 7 7

AGARD-AR-112

JDC FILE COPY

5 SC

AGARD-AR-112

AGARD

ADVISORY GROUP FOR AEROSPACE RESEARCH & DEVELOPMENT

7 RUE ANCELLE 92200 NEUILLY SUR SEINE FRANCE

RAPPORT DE SYNTHÈSE AGARD No. 112

**Rapport d'Evaluation Technique
du
Congrès du Panel de la Dynamique des Fluides
sur
La Mise en Oeuvre de
Moyens Non Perturbateurs d'Etude
des Ecoulements des Fluides
par
X. Bouis**

D D C
RECEIVED
FEB 3 1971
JDC

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION



**DISTRIBUTION AND AVAILABILITY
ON BACK COVER**

DISTRIBUTION STATEMENT A

Approved for public release
Distribution Unlimited

ORGANISATION DU TRAITE DE L'ATLANTIQUE NORD
GROUPE CONSULTATIF POUR LA RECHERCHE ET LE DEVELOPPEMENT AEROSPATIAL
(NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION)

Rapport de Synthèse AGARD No.112

RAPPORT D'EVALUATION TECHNIQUE

du

CONGRES DU PANEL DE LA DYNAMIQUE DES FLUIDES

sur

**LA MISE EN ŒUVRE DE MOYENS NON PERTURBATEURS
D'ETUDE DES ECOULEMENTS DES FLUIDES**

par

X Bouis

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

1. BUTS DU CONGRES, THEME
2. FAITS SAILLANTS, STADES DE DEVELOPPEMENT ATTEINTS PAR LES NOUVELLES TECHNIQUES DE MESURE
3. PROBLEMES QUE CES TECHNIQUES DE MESURE POURRAIENT CONTRIBUER A RESOUDRE
4. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Page

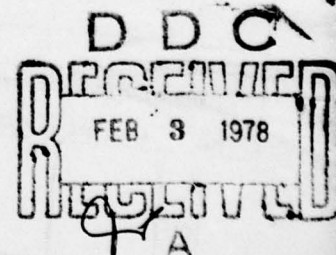
1

1

1

4

5



Le Procès-Verbal du Congrès organisé par le Panel de la Dynamique des Fluides sur la Mise en oeuvre de Moyens non perturbateurs d'Etude des Ecoulements des Fluides a été publié dans le document CP 193 de l'AGARD.

400 043

LA MISSION DE L'AGARD

La mission de l'AGARD est de réunir les personnalités marquantes des pays de l'OTAN dans les domaines de la science et de la technologie intéressant les activités aérospatiales, en vue:

- d'échanger des renseignements scientifiques et techniques;
- de stimuler de façon continue les progrès des sciences aérospatiales pouvant permettre de renforcer la défense commune;
- d'améliorer la coopération entre les pays membres dans le domaine de la recherche et du développement aérospatial;
- de fournir au Comité Militaire de l'Atlantique Nord une aide et des avis scientifiques et techniques dans le domaine de la recherche et du développement aérospatial;
- d'apporter, sur demande, aux autres organismes de l'OTAN et aux pays membres, une aide scientifique et technique en ce qui concerne les problèmes de recherche et de développement dans le domaine aérospatial;
- de fournir une aide aux pays membres en vue d'accroître leur potentiel scientifique et technique;
- de recommander aux pays membres des méthodes efficaces pour utiliser leurs possibilités en matière de recherche et de développement au profit de l'ensemble de la communauté de l'OTAN.

Le Conseil des Délégués Nationaux de l'AGARD constitue la plus haute autorité au sein de cet organisme; il est composé de représentants éminents de chaque pays membre, faisant l'objet d'une nomination officielle. Pour mener à bien sa mission, l'AGARD dispose de Groupes de Travail composés d'experts désignés par les Délégués Nationaux, du Programme d'Echanges et de Consultants, et du Programme d'Etudes en vue d'Applications Aérospatiales. L'AGARD rend compte des résultats de ses travaux aux pays membres et aux Autorités de l'OTAN sous forme de publications dont cet ouvrage est un exemple.

Seules sont admises à participer aux activités de l'AGARD les personnes ayant fait l'objet d'une invitation et jouissant en règle générale de la citoyenneté d'un des pays de l'OTAN.

Le texte de cette publication a été directement reproduit à partir d'un exemplaire fourni par l'AGARD ou par l'auteur.

ACCESSION for	
NTIS	White Section <input checked="" type="checkbox"/>
DOC	Grey Section <input type="checkbox"/>
UNANNOUNCED	<input type="checkbox"/>
JUSTIFICATION	
BY	
DISTRIBUTION/AVAILABILITY CODES	
Dist.	AVAIL. and/or SPECIAL
A	

Publiée Decembre 1977

Copyright © AGARD 1977

All Rights Reserved

ISBN 92-835-2103-X



Imprimé par Technical Editing and Reproduction Ltd
Harford House, 7-9 Charlotte St, London, W1P 1HD

RAPPORT D'EVALUATION TECHNIQUE DU CONGRES ORGANISE A SAINT-LOUIS
DU 3 AU 5 MAI 1976 PAR LE FLUID DYNAMICS PANEL

par

X. BOUIS

Institut Franco-Allemand de Recherches de Saint-Louis
Boîte Postale 301
68301 SAINT-LOUIS, France

TITRE DU CONGRES : APPLICATION OF NON-INTRUSIVE INSTRUMENTATION IN FLUID FLOW RESEARCH

INTRODUCTION

Après avoir élargi son champ d'activités, le Fluid Dynamics Panel vient de retrouver à Londres récemment, et ici à Saint-Louis, dans deux symposiums consécutifs sa vocation initiale. Pourquoi cette insistance sur les techniques d'essais et de mesures ? C'est que celles-ci ont depuis peu, avec l'emploi des lasers, progressé d'une manière étonnante et semblent particulièrement orientées vers l'étude des principaux problèmes aérodynamiques actuels.

A l'issue d'une réunion où les spécialistes des mesures ont tenu les premiers rôles, impressionnant souvent l'assistance par l'audace des instruments proposés, il est souhaitable de revenir à la question fondamentale : "en quoi cela va-t-il faire progresser la technique aéronautique ?".

Renvoyant en annexe l'évaluation détaillée des méthodes présentées, le présent rapport va tenter de répondre à cette question et de dégager les principaux enseignements de ce congrès pour les aérodynamiciens comme pour les spécialistes des mesures.

- PLAN DU RAPPORT :
- 1 - Buts du congrès, thème.
 - 2 - Faits saillants, stades de développement atteints par les nouvelles techniques de mesure.
 - 2.1 - Méthodes proposées : Principe, état d'avancement.
 - 2.2 - Comparaison des possibilités de ces nouvelles méthodes.
 - 3 - Problèmes que ces techniques de mesure pourraient contribuer à résoudre.
 - 3.1 - En aérodynamique externe.
 - 3.2 - Dans les turbomachines.
 - 3.3 - Dans les écoulements avec réactions chimiques.
 - 4 - Conclusions, recommandations.

Annexe : Le point de vue d'un expérimentateur sur le détail des résultats présentés.

1. BUTS DU CONGRES, THEME

Les participants étaient invités à un "Symposium consacré essentiellement à la mise en oeuvre et à l'utilisation de nouvelles techniques d'étude d'écoulement n'y introduisant ni sonde ni perturbation. L'accent était mis sur les méthodes de mesure ponctuelles et à courts temps de réponse applicables aux écoulements turbulents transsoniques, supersoniques et hypersoniques, leurs possibilités dans des écoulements à basse vitesse ou particuliers pouvant néanmoins faire l'objet de discussions".

Les sujets des conférences retenues par le Panel se placent pratiquement tous dans ce cadre. Il en résulte que 25 exposés sur 27 s'appuient sur l'utilisation de lasers, la plus grande part revenant à l'anémométrie laser (20 fois citée). Les autres méthodes font appel à l'effet Raman, la diffusion Raman anti-Stokes, la fluorescence, l'émission infra-rouge et le traitement mathématique d'interférogrammes.

Notons dès maintenant que plusieurs exposés auraient pu s'adresser à une assistance plus large comprenant outre des aérodynamiciens, des chimistes et des spécialistes de la propulsion.

2. FAITS SAILLANTS, STADES DE DEVELOPPEMENT ATTEINTS PAR LES NOUVELLES TECHNIQUES DE MESURE*

2.1 Méthodes proposées : principe, état d'avancement

a) Anémométrie laser : Mesure de vitesse

Un ou deux faisceaux laser focalisés au point de mesure illuminent des traceurs solides ou liquides entraînés par l'écoulement : La mesure du décalage Doppler de la lumière qu'ils diffusent donne directement une composante de leurs vitesses. Ces traceurs doivent être assez fins (submicroniques en général) pour suivre correctement l'écoulement mais assez volumineux pour fournir un signal lumineux exploitable.

* Ce paragraphe ne donne qu'un bref aperçu des résultats présentés. Le lecteur trouvera des informations complémentaires dans l'annexe du rapport.

Cette méthode, née en 1964 est passée depuis deux ou trois ans, dans de nombreux laboratoires, des mains des électro-opticiens dans celles des aérodynamiciens. Ici et là commencent même à apparaître des utilisateurs industriels.

b) Diffusion Raman classique : Mesure de concentration et de température

Un faisceau laser puissant traverse la région à sonder. On recueille hors de l'axe de ce faisceau la lumière Raman diffusée par un constituant de l'écoulement. On en mesure l'intensité et on enregistre son spectre. On accède ainsi à la concentration et à la température de l'espèce étudiée.

La diffusion Raman est connue des spectroscopistes depuis 1928 mais n'a pu être utilisée pour des mesures ponctuelles rapides qu'après l'apparition de sources laser puissantes, les sections efficaces de diffusion Raman étant très faibles.

Des exemples d'utilisation industrielle de la méthode ont été cités.

c) Diffusion Raman anti-Stokes cohérente : Mesures de concentrations et de températures

On focalise au point de mesure deux faisceaux laser colinéaires de fréquences ω_0 et ω_s , ω_s étant la fréquence Raman du constituant à étudier. Une onde cohérente dite "anti-Stokes" apparaît à la fréquence $\omega_{AS} = 2\omega_0 - \omega_s$. Sa puissance dépend de la concentration du gaz excité et, de manière non linéaire, des puissances des deux lasers. Les signaux lumineux reçus sont comparables aux signaux Raman classiques mais d'intensités très nettement supérieures.

Utilisée pour la première fois en 1965, puis, en aérodynamique, en 1973, cette méthode est encore au stade du laboratoire.

d) Autres techniques utilisant des diffusions lumineuses

- Diffusion Rayleigh : Mesures de densité et de température.
Les sections efficaces de diffusion Rayleigh sont très faibles et cette diffusion se fait à la même fréquence que l'excitation. Les méthodes l'utilisant ont de ce fait un champ d'application limité par de grandes difficultés de mise en oeuvre (suppression des réflexions parasites, gaz dépoussiérés ...).
- Fluorescence du gaz excité par faisceau d'électrons.
Citée pour mémoire, cette technique est limitée au domaine des gaz raréfiés (souffleries hypersoniques en général). Elle peut maintenant être considérée comme classique.
- Utilisation de traceurs liquides fluorescents en anémométrie laser.
Cette technique, au stade du laboratoire, pourrait permettre de travailler plus facilement à proximité des maquettes, le signal lumineux utile se trouvant sur une longueur d'onde très différente de celle de la lumière parasite diffusée par celles-ci.
- Résonance fluorescente : Mesures de vitesses, de densités, de températures.
En excitant la résonance des raies D d'atomes de sodium à l'aide d'un laser accordable, il a été possible d'obtenir des signaux lumineux considérablement plus intenses que les signaux fournis habituellement par la fluorescence ou la diffusion de Mie. Cette technique serait particulièrement séduisante si l'on parvenait à remplacer le sodium par un corps stable dans des conditions expérimentales usuelles.

c) Autres méthodes présentées au congrès

Citons ici la mesure de l'émission infra-rouge dans les jets chauds et le traitement mathématique d'interférogrammes. Ces méthodes, sources d'informations précieuses, ne seront pas examinées ici, car contrairement aux techniques citées plus haut, elles n'ont pas un caractère ponctuel direct. L'holographie, enfin sera également écartée de la discussion car elle ne permet pas non plus de suivre facilement les fluctuations d'une grandeur physique en un point donné de l'espace.

2.2 Comparaison des possibilités de ces nouvelles méthodes

Le tableau ci-dessous résume la discussion et les conclusions développées dans l'annexe. Les "dates importantes" citées correspondent, dans l'ordre, à la première démonstration de la méthode en mécanique des fluides, à son emploi intensif dans quelques laboratoires importants et au début de son utilisation industrielle.

	Phénomène physique utilisé	Grandeur(s) mesurée(s)	Ecoulements gazeux et installations accessibles à cette méthode	Résolution spatiale	Résolution temporelle	Cadence	Précision	Dates importantes	Limitations et remarques
Anémométrie laser	Décalage Doppler de la lumière diffusée par des traceurs	1,2 ou 3 composantes de la vitesse	Froids ou chauds (même flammes) peu sensible aux vibrations mécaniques	$< 0,1 \text{ mm}^3$	$\sim 1 \mu\text{s}$	de 10 à 10 000 Hz	0,5 à 2 %	1964 1972 1976	- fiabilité décroissant si la vitesse croît ($> 500 \text{ m/s}$) et si la pression décroît. - difficultés d'emploi près des parois dans des configurations tridimensionnelles. - risque de biais statistique en écoulement turbulent ou avec réaction chimique.
Diffusion Raman (avec observation ponctuelle)	Intensité et largeur de bande de la raie Raman	Concentration volumique et température d'un constituant du gaz	idem	$\sim 1 \text{ mm}^3$	avec laser pulsé $<< 1 \mu\text{s}$ avec laser continu $\sim 1 \text{ s}$	$\sim 1 \text{ Hz}$	2 à 10 %	1969 1971 1974	- recouvrement possible des spectres des différentes espèces. - signal très faible.
Diffusion Raman anti-Stokes cohérente	Intensité et largeur de la raie anti-Stokes	Concentration et température des constituants du gaz (même mineurs)	actuellement: tous les écoulements à petite échelle au laboratoire	$\sim 1 \text{ mm}^3$	avec laser pulsé $<< 1 \mu\text{s}$ avec laser continu $\sim 10 \text{ ms}$	10 Hz 100 Hz	quelques %	1973 1978?	- méthode non linéaire. - coût de deux lasers puissants. - problèmes de vibrations et de focalisation dans de grandes installations.
Diffusion Rayleigh	Intensité et largeur de la diffusion Rayleigh	Densité et (indirectement) température	gaz dépoussiérés et obscurité complète	$\sim 1 \text{ mm}^3$	$\sim 1 \text{ s}$	$< 1 \text{ Hz}$	$< 10\%$	1975 ? ?	- l'emploi hors de laboratoires très spécialisés paraît exclu.
Fluorescence excitée par faisceau d'électrons	Intensités de deux raies d'émission fluorescente	(indirectement) la densité et la température	Basses densités (hypersonique)	qqq mm^3	$\sim 0,5 \text{ MHz}$		10 % ?	1968 ?	
Fluorescence de traceurs contenant un colorant	Voir anémométrie laser	1 composante de la vitesse	Voir anémométrie laser					1975 ? ?	- il doit être possible d'accéder à la densité à partir de la concentration en traceurs.
Résonance fluorescente	Décalage Doppler de la raie D du Sodium	Deux composantes de la vitesse	Hélium à Mach > 8	$< 1 \text{ mm}^3$	$\sim 1 \text{ MHz}$		qqq % ?	1976 ? ?	

3. PROBLEMES QUE CES TECHNIQUES DE MESURE POURRAIENT CONTRIBUER A RESOUDRE

La revue qui suit ne prétend évidemment pas être exhaustive mais doit faire apparaître les domaines où les techniques optiques nouvelles auront vraisemblablement un impact décisif et ceux où elles ne joueront qu'un rôle mineur.

3.1 Aérodynamique externe

- Les écoulements où peuvent s'appliquer des hypothèses de fluide parfait stationnaire sont maintenant trop bien connus pour que ces techniques de mesure y apportent des informations vraiment originales. Elles peuvent cependant faciliter et accélérer les travaux de mise au point : l'anémométrie laser pourrait par exemple être employée d'une manière systématique autour des profils et des ailes dans les souffleries transsoniques importantes et (pourquoi pas ?) comme référence "infini amont" dans les mêmes souffleries.
- Certaines configurations d'écoulements turbulents "stationnaires" sont fort mal connues : Le contournement du bord de fuite d'une aile épaisse à faible incidence est important par ses répercussions sur la traînée de l'aile en croisière; les interactions onde de choc-couche limite présentes en de nombreuses régions des voilures et des moteurs influent parfois sur la totalité de l'écoulement d'une manière gênante et encore difficile à prévoir. L'anémométrie laser à deux composantes associée à une bonne visualisation contribue dès maintenant à la modélisation de ces écoulements.
- Les écoulements décollés autour d'ailes ou d'entrées d'air à très grande incidence font actuellement l'objet de nombreux travaux liés à la manoeuvrabilité et aux performances des avions de combat. L'anémométrie laser peut, dans son état actuel fournir aux théoriciens un certain nombre de données nouvelles, au moins dans des configurations bidimensionnelles (distributions de deux composantes de la vitesse en chaque point, informations d'ordre spectral sur les "grosses structures" turbulentes).
- Les prédictions théoriques et la conception des appareils se compliquent encore lorsque ceux-ci comportent des surfaces en mouvement : hélicoptères, gouvernes mobiles asservies, (CCV) ...
L'anémométrie laser à deux (ou trois) composantes, et les nouvelles méthodes de mesure de densité sont ici particulièrement séduisantes. Elles requerront cependant, avant de contribuer à des progrès, de la part des théoriciens, un important travail de modélisation et de choix des grandeurs demandées, et de la part des expérimentateurs un effort sur la cadence d'acquisition des données et la prise en compte des paramètres géométriques instantanés (position du point de mesure par rapport à la pale ...).
- En revanche, tant que l'anémométrie laser et les techniques Raman n'auront pas fait la preuve de leur souplesse et de leur fiabilité pour des mesures instantanées au voisinage de parois tridimensionnelles, on ne pourra en attendre une contribution importante dans les études de décollements localisés ou d'aéroélasticité.
- Il n'est pas irréaliste d'envisager des essais en vol utilisant l'anémométrie laser. De nombreuses questions relatives à la simulation des nombres de Reynolds de vol pourraient alors être résolues de manière rapide, aucune modification des ailes de l'avion n'étant nécessaire.

3.2 Turbomachines et aérodynamique interne

- Les décollements dans les diffuseurs et le comportement des arrière-corps s'apparentent aux "écoulements turbulents stationnaires" ci-dessus. On a vu la contribution que pourrait fournir dans ce cas l'anémométrie laser.
- Le comportement aérodynamique des aubes de compresseur et de turbine, l'échauffement de celles-ci sont en revanche eux, des problèmes spécifiques dont l'approche expérimentale est délicate.
Il est déjà possible d'accéder à l'écoulement moyen dans les canaux inter-aubes en ce qui concerne la vitesse et, semble-t-il la densité et la température. La précision de ces mesures ne paraît cependant pas dépasser de beaucoup les possibilités des modèles théoriques relativement simples. Un dialogue entre motoristes et expérimentateurs sur des points précis permettrait seul d'avancer des conclusions.
- Nous rattacherons d'une manière un peu abusive le bruit des moteurs et des surfaces à ce paragraphe.
Moyennant un effort raisonnable d'automatisation des mesures, toutes les méthodes proposées peuvent fournir des informations instantanées sur les champs de vitesse et de densité chauds ou froids, rapides ou lents, générateurs de bruit. Elles peuvent être couplées à des visualisations ou à des mesures microphoniques en vue de corrélations diverses. Mais elles ne joueront un rôle décisif que si la génération du bruit par les écoulements compressibles et chauds est due à des mécanismes radicalement différents de ceux observés au fil chaud en écoulement lent et froid.

3.3 Ecoulements avec réactions chimiques

- Les mécanismes de combustion connus jusqu'à présent d'une manière très globale devraient se préciser au cours des prochaines années.
La plupart des nouvelles techniques laser présentées au cours de ce congrès s'y appliquent en effet particulièrement bien comblant ainsi une importante lacune dans l'éventail des moyens de diagnostic disponibles. Les propulseurs d'avions et de missiles, mais également les moteurs terrestres classiques devraient d'ici une dizaine d'années bénéficier de ce pas en avant.
- Naturellement les réactions chimiques ne sont pas réduites aux combustions et on peut penser que nombreux sont les laboratoires de recherches militaires intéressés par les possibilités d'analyse chimique instantanée qu'offre l'effet Raman (classique ou anti-Stokes).
- Pour mémoire, on peut rapprocher de ce point la question de la pollution par les moteurs d'avions. C'est en effet souvent dans le but de l'étudier que des techniques Raman ont été mises au point.

4. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

- Ce symposium a-t-il répondu aux souhaits du FDP et des participants ? A-t-il donné une bonne vue générale sur les méthodes de mesure ponctuelles ne perturbant pas l'écoulement ?

Sans conteste oui pour l'anémométrie laser. Cependant l'adjonction au congrès AGARD de deux journées de "Workshop" spécialisé sur cette technique* aurait pu permettre de réduire un peu la très large part qui lui a été réservée.

Oui également pour les diverses méthodes utilisant l'effet Raman qui ont fait l'objet de claires synthèses.

Mais si plusieurs autres méthodes ont été décrites, les aérodynamiciens toujours en quête de solutions nouvelles adaptables à leurs problèmes particuliers ont pu regretter qu'un panorama plus complet de celles-ci n'ait pas été présenté (certaines techniques holographiques et plusieurs capteurs de paroi entraient en effet dans le cadre du congrès).

- Quels enseignements les aérodynamiciens doivent-ils tirer de ce symposium ?

Tout d'abord que les méthodes ponctuelles de diagnostics utilisant des lasers ne sont plus considérées comme de belles démonstrations de physique réservées aux spécialistes de l'opto-électronique, mais comme des instruments au service de l'aérodynamique.

Ces instruments ne sont cependant pas tous opérationnels : seules l'anémométrie laser et la diffusion Raman sont utilisées assez couramment (dans des buts qui ne sont pas la qualification de la méthode elle-même!). On voit de ce fait apparaître un certain nombre d'appareils commercialisés basés sur ces méthodes et un très grand nombre de publications disséquant leurs avantages et leurs inconvénients. Cette situation déjà rencontrée avec l'anémométrie à fil chaud au début des années 60 devrait cette fois évoluer différemment. En effet, ces nouvelles techniques possèdent un atout majeur : pour la première fois, elles offrent au mécanicien des fluides la possibilité de mesurer directement une variable aéro-thermodynamique, quelles que soient les fluctuations mêmes très importantes, des autres. A-t-on donc découvert la panacée ? Malheureusement non car les performances obtenues dans des conditions d'essai favorables ne doivent pas faire oublier que ces techniques qui exigent un bon accès optique au domaine étudié, sont encore de mise en oeuvre délicate près des parois dans les configurations tridimensionnelles, et, pour le moment, ne fournissent des informations qu'en un seul point de mesure déplacé lentement dans la soufflerie. Fait significatif : elles n'ont pas encore percé dans les souffleries industrielles.

Mais nombreux sont ceux qui déjà les exploitent dans des cas simples (bidimensionnels, turbulence libre, combustions, etc ...) et non moins nombreux sont ceux qui cherchent à simplifier leur emploi. Je pense donc que dans les écoulements énumérés plus haut où ces méthodes sont irremplaçables, aucun chercheur ou industriel n'acceptera bientôt de s'en passer, et que les modèles théoriques et les améliorations technologiques suivront rapidement.

Cette évolution ne pourra se faire sans répercussions financières et technologiques sur les souffleries elles-mêmes :

- financières car le calcul du prix du "point de mesure" devra être revu (maquettes moins chères mais investissement initial lourd, temps d'installation et de réglages longs, personnel plus qualifié)
- technologiques car les souffleries récentes ou en projet ne fournissent que rarement le bon accès optique et les longues durées de rafales actuellement indispensables à ces méthodes.

Les lasers sont "à la mode" chez les aérodynamiciens. Je ne pense pas que ce phénomène soit passager : l'association des lasers et des moyens électroniques puissants ne fait que commencer ... et il existe un large éventail de phénomènes moléculaires (résonances en particulier) susceptibles de fournir des informations mécaniques ou thermodynamiques.

Mais l'élégance et la précision des mesures qu'elles permettront d'effectuer ne doivent pas faire perdre de vue un point qui me paraît essentiel : une méthode locale employée seule ne peut conduire à la conception d'un modèle qu'au prix d'expériences fort nombreuses.

Peut-être faut-il maintenant rechercher des méthodes quantitatives susceptibles de fournir des cartes instantanées bidimensionnelles de tel ou tel paramètre d'un écoulement.

* Cette formule "Symposium et Workshop" a été fort appréciée des spécialistes qui ont eu le temps de discuter de manière approfondie entre eux et avec les nouveaux utilisateurs de leurs techniques. Le compte-rendu de conférence a été publié sous le No. AGARD CP-193. Le compte-rendu du "Workshop" a été publié par l'Institut Franco-Allemand de Recherches de Saint-Louis sous le No. R 117/76.

REPORT DOCUMENTATION PAGE															
1. Recipient's Reference	2. Originator's Reference	3. Further Reference	4. Security Classification of Document												
	AGARD-AR-112	ISBN 92-835-2103-X	UNCLASSIFIED												
5. Originator Advisory Group for Aerospace Research and Development North Atlantic Treaty Organization 7 rue Ancelle, 92200 Neuilly sur Seine, France															
6. Title RAPPORT D'EVALUATION TECHNIQUE du CONGRES DU PANEL DE LA DYNAMIQUE DES FLUIDES sur LA MISE EN OEUVRE DE MOYENS NON PERTURBATEURS D'ETUDE DES ECOULEMENTS DES FLUIDES															
7. Presented at															
8. Author(s) X. Bouis			9. Date December 1977												
10. Author's Address Institute Franco-Allemand de Recherches de Saint-Louis Boîte Postale 301 68301 SAINT-LOUIS, France			11. Pages 8												
12. Distribution Statement This document is distributed in accordance with AGARD policies and regulations, which are outlined on the Outside Back Covers of all AGARD publications.															
13. Keywords/Descriptors															
<table border="0"> <tr> <td>Fluid flow</td> <td>Lasers</td> <td>Measurement</td> <td>Flow distribution</td> </tr> <tr> <td>Anemometers</td> <td>Raman spectra</td> <td>Measuring instruments</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Doppler effect</td> <td>Diffusion</td> <td>Flow measurement</td> <td></td> </tr> </table>				Fluid flow	Lasers	Measurement	Flow distribution	Anemometers	Raman spectra	Measuring instruments		Doppler effect	Diffusion	Flow measurement	
Fluid flow	Lasers	Measurement	Flow distribution												
Anemometers	Raman spectra	Measuring instruments													
Doppler effect	Diffusion	Flow measurement													
14. Abstract															
<p>✓ The FDP Symposium provided a survey and review of non-intrusive measurement concepts, particularly the laser doppler anemometer. Application of laser anemometry and Raman diffusion techniques in research facilities has become commonplace. These research tools require specially trained operating personnel who often are the aerospace engineer or aerodynamicist himself. These techniques are widely used in simple cases for obtaining data at a single measurement point, but their usage is extremely difficult in complicated, three dimensional flow configurations and close to a wall. Basic problems include the restriction of optical access to the test field, the tedious time consuming process of obtaining local point measurements, measuring accuracies and corrections, and interpretation of results. In the future, these measurement techniques will become indispensable in both research and industry.</p> <p>The Proceedings of the AGARD Fluid Dynamics Panel Symposium on Applications of Non-Intrusive Instrumentation in Fluid Flow Research are published as AGARD CP-193. ↑</p>															

<p>AGARD Advisory Report No.112 Advisory Group for Aerospace Research and Development, NATO</p> <p>RAPPORT D'EVALUATION TECHNIQUE du CONGRES DU PANEL DE LA DYNAMIQUE DES FLUIDES sur LA MISE EN OEUVRE DE MOYENS NON PERTURBATEURS D'ETUDE DES ECOULEMENTS DES FLUIDES</p> <p>by X.Bouis Published December 1977 8 pages</p> <p>The FDP Symposium provided a survey and review of non-intrusive measurement concepts, particularly the laser doppler anemometer. Application of laser anemometry and Raman diffusion techniques in research</p> <p>P.T.O.</p>	<p>AGARD-AR-112</p> <p>Fluid flow Anemometers Doppler effect Lasers Raman spectra Diffusion Measurement Measuring instruments Flow measurement Flow distribution</p>	<p>AGARD Advisory Report No.112 Advisory Group for Aerospace Research and Development, NATO</p> <p>RAPPORT D'EVALUATION TECHNIQUE du CONGRES DU PANEL DE LA DYNAMIQUE DES FLUIDES sur LA MISE EN OEUVRE DE MOYENS NON PERTURBATEURS D'ETUDE DES ECOULEMENTS DES FLUIDES</p> <p>by X.Bouis Published December 1977 8 pages</p> <p>The FDP Symposium provided a survey and review of non-intrusive measurement concepts, particularly the laser doppler anemometer. Application of laser anemometry and Raman diffusion techniques in research</p> <p>P.T.O.</p>	<p>AGARD-AR-112</p> <p>Fluid flow Anemometers Doppler effect Lasers Raman spectra Diffusion Measurement Measuring instruments Flow measurement Flow distribution</p>
<p>AGARD Advisory Report No.112 Advisory Group for Aerospace Research and Development, NATO</p> <p>RAPPORT D'EVALUATION TECHNIQUE du CONGRES DU PANEL DE LA DYNAMIQUE DES FLUIDES sur LA MISE EN OEUVRE DE MOYENS NON PERTURBATEURS D'ETUDE DES ECOULEMENTS DES FLUIDES</p> <p>by X.Bouis Published December 1977 8 pages</p> <p>The FDP Symposium provided a survey and review of non-intrusive measurement concepts, particularly the laser doppler anemometer. Application of laser anemometry and Raman diffusion techniques in research</p> <p>P.T.O.</p>	<p>AGARD-AR-112</p> <p>Fluid flow Anemometers Doppler effect Lasers Raman spectra Diffusion Measurement Measuring instruments Flow measurement Flow distribution</p>	<p>AGARD Advisory Report No.112 Advisory Group for Aerospace Research and Development, NATO</p> <p>RAPPORT D'EVALUATION TECHNIQUE du CONGRES DU PANEL DE LA DYNAMIQUE DES FLUIDES sur LA MISE EN OEUVRE DE MOYENS NON PERTURBATEURS D'ETUDE DES ECOULEMENTS DES FLUIDES</p> <p>by X.Bouis Published December 1977 8 pages</p> <p>The FDP Symposium provided a survey and review of non-intrusive measurement concepts, particularly the laser doppler anemometer. Application of laser anemometry and Raman diffusion techniques in research</p> <p>P.T.O.</p>	<p>AGARD-AR-112</p> <p>Fluid flow Anemometers Doppler effect Lasers Raman spectra Diffusion Measurement Measuring instruments Flow measurement Flow distribution</p>

<p>facilities has become commonplace. These research tools require specially trained operating personnel who often are the aerospace engineer or aerodynamicist himself. These techniques are widely used in simple cases for obtaining data at a single measurement point, but their usage is extremely difficult in complicated, three dimensional flow configurations and close to a wall. Basic problems include the restriction of optical access to the test field, the tedious time consuming process of obtaining local point measurements, measuring accuracies and corrections, and interpretation of results. In the future, these measurement techniques will become indispensable in both research and industry.</p> <p>The Proceedings of the AGARD Fluid Dynamics Panel Symposium on "Applications of Non-Intrusive Instrumentation in Fluid Flow Research" are published as AGARD CP-193.</p>	<p>facilities has become commonplace. These research tools require specially trained operating personnel who often are the aerospace engineer or aerodynamicist himself. These techniques are widely used in simple cases for obtaining data at a single measurement point, but their usage is extremely difficult in complicated, three dimensional flow configurations and close to a wall. Basic problems include the restriction of optical access to the test field, the tedious time consuming process of obtaining local point measurements, measuring accuracies and corrections, and interpretation of results. In the future, these measurement techniques will become indispensable in both research and industry.</p> <p>The Proceedings of the AGARD Fluid Dynamics Panel Symposium on "Applications of Non-Intrusive Instrumentation in Fluid Flow Research" are published as AGARD CP-193.</p>
<p>ISBN-92-835-2103-X</p> <p>facilities has become commonplace. These research tools require specially trained operating personnel who often are the aerospace engineer or aerodynamicist himself. These techniques are widely used in simple cases for obtaining data at a single measurement point, but their usage is extremely difficult in complicated, three dimensional flow configurations and close to a wall. Basic problems include the restriction of optical access to the test field, the tedious time consuming process of obtaining local point measurements, measuring accuracies and corrections, and interpretation of results. In the future, these measurement techniques will become indispensable in both research and industry.</p> <p>The Proceedings of the AGARD Fluid Dynamics Panel Symposium on "Applications of Non-Intrusive Instrumentation in Fluid Flow Research" are published as AGARD CP-193.</p>	<p>ISBN-92-835-2103-X</p> <p>facilities has become commonplace. These research tools require specially trained operating personnel who often are the aerospace engineer or aerodynamicist himself. These techniques are widely used in simple cases for obtaining data at a single measurement point, but their usage is extremely difficult in complicated, three dimensional flow configurations and close to a wall. Basic problems include the restriction of optical access to the test field, the tedious time consuming process of obtaining local point measurements, measuring accuracies and corrections, and interpretation of results. In the future, these measurement techniques will become indispensable in both research and industry.</p> <p>The Proceedings of the AGARD Fluid Dynamics Panel Symposium on "Applications of Non-Intrusive Instrumentation in Fluid Flow Research" are published as AGARD CP-193.</p>
<p>ISBN-92-835-2103-X</p>	<p>ISBN-92-835-2103-X</p>

AGARD

NATO  OTAN

7 RUE ANCELLE · 92200 NEUILLY-SUR-SEINE
FRANCE

Telephone 745.08.10 · Telex 610176

**DIFFUSION DES PUBLICATIONS
AGARD NON CLASSIFIEES**

NOTE: Les publications AGARD non classifiées sont initialement diffusées auprès des pays membres de l'OTAN par l'intermédiaire des Centres Nationaux de Diffusion dont la liste suit. Ces Centres disposent parfois d'exemplaires supplémentaires; sinon, il est possible de s'en procurer à titre onéreux sous forme de Microfiches ou de Photocopies auprès des Agences de Vente dont la liste est donnée ci-dessous. LE CENTRE NATIONAL DE DIFFUSION DES ETATS-UNIS (NASA) NE GARDE PAS DE STOCKS DES PUBLICATIONS AGARD, ET LES DEMANDES D'EXEMPLAIRES SUPPLEMENTAIRES DOIVENT ETRE DIRECTEMENT ADRESSEES A L'AGENCE DE VENTE APPROPRIEE (NTIS).

CENTRES DE DIFFUSION NATIONAUX

BELGIQUE

Coordonnateur AGARD - VSL
Etat-Major de la Force Aérienne
Caserne Prince Baudouin
Place Dailly, 1030 Bruxelles

CANADA

Service des Renseignements Scientifiques
pour la Défense
Ministère de la Défense Nationale
Ottawa, Ontario K1A 0Z3

DANEMARK

Danish Defence Research Board
Østerbrogades Kaserne
Copenhagen Ø

FRANCE

O.N.E.R.A. (Direction)
29, Avenue de la Division Leclerc
92, Châtillon sous Bagneux

ALLEMAGNE

Zentralstelle für Luft- und Raumfahrt-
dokumentation und information
Postfach 860880
D-8 München 86

GRECE

Hellenic Armed Forces Command
D Branch, Athens

ISLANDE

Director of Aviation
c/o Flugrad
Reykjavik

ITALIE

Aeronautica Militare
Ufficio del Delegato Nazionale all'AGARD
3, Piazzale Adenauer
Roma/EUR

LUXEMBOURG

Voir Belgique

PAYS BAS

Netherlands Delegation to AGARD
National Aerospace Laboratory, NLR
P.O. Box 126
Delft

NORVEGE

Norwegian Defense Research Establishment
Main Library, P.O. Box 25
N-2007 Kjeller

PORTUGAL

Direccao do Servico de Material
da Forca Aerea
Rua da Escola Politecnica 42
Lisboa
Attn: AGARD National Delegate

TURQUIE

Department of Research & Development (ARGE)
Ministry of National Defence, Ankara

ROYAUME UNI

Defence Research Information Centre
Station Square House
St Mary Cray
Orpington, Kent BR5 3RE

ETATS-UNIS

National Aeronautics and Space Administration (NASA)
Langley Field, Virginia 23665
Attn: Report Distribution and Storage Unit
(Voir la note ci-dessus)

AGENCES DE VENTE

Microfiches ou Photocopies

National Technical Information Service
(NTIS)
5285 Port Royal Road
Springfield
Virginia 22151, USA

Microfiches

ESRO/ELDO Space Documentation Service
European Space Research Organization
10, rue Mario Nikis
75015 Paris, France

Microfiches

Technology Reports Centre
(DTI)
Station Square House
St. Mary Cray, Orpington
Kent BR5 3RF England

Toute demande de microfiche ou de photocopie d'un document AGARD devra comporter le numéro de série AGARD, le titre, le nom de l'auteur ou du coordonnateur-rédacteur et la date de publication. Les demandes adressées au NTIS devront mentionner le numéro de répertoriage du rapport à la NASA

* * *

On trouvera des références bibliographiques complètes et des résumés des publications récentes de l'AGARD dans les bulletins bimensuels suivants.

Scientific and Technical Aerospace Reports (STAR)
publié par la NASA Scientific and Technical
Information Facility,
P.O. Box 8757
Baltimore/Washington International Airport
Maryland 21240, USA

Government Reports Announcements (GRA)
publié par National Technical Information Services,
Springfield,
Virginia 22151, USA



Imprimé par Technical Editing and Reproduction Ltd
Harford House, 7-9 Charlotte St, London. W1P 1HD

ISBN 92-835-2103-X